

VISZKO-ELASZTIKUS ANYAGOK ÜTKÖZTETÉSES APRÍTÁSELMÉLETÉNEK VIZSGÁLATA

SZABÓ GÁBOR*

Az élelmiszer feldolgozás területén nagy jelentősége van minden olyan új megmunkálási módszernek, gépnek vagy technológiának, amely csökkenti egy adott folyamat fajlagos energiafelhasználását, javítja a késztermék minőségét, maximálisan figyelembe veszi az ergonómiai előírásokat.

A napjainkban üzemelő, az ütköztetési elv alapján működő aprítógépeknek viszonylag nagy az energiaigénye, heterogén az aprított termék granulometriai összetétele [1].

Az ütköztetési aprítás elmélete ma még kevésbé tanulmányozott. Itt egy-egy gép tervezésénél nehézségekbe ütközünk. Hiányosság továbbá a megmunkálandó anyagok, mechanikai tulajdonságainak és a meglévő információknak elhanyagolása.

1. AZ ÜTKÖZTETÉSES APRÍTÁS ELVE

Mint ismeretes ütközésről akkor beszélünk, mikor két test mozgása folyamán érintkezésbe kerül egymással és az érintkezés pillanatában legalább az egyik test mozgásállapotában hirtelen véges, gyakran jelentős nagyságú változás következik be [3]. Az előforduló ütközések osztályozását az 1. ábra alapján ismertetem. Az m_1 tömeg ütközése *egyenest*, mert \vec{v}_1 normális irányú, *centrikus*, mert a normális átmegy az S_1 súlyponton; az m_2 ütközése *ferde* és *excentrikus*; az \vec{F} az ütközés lökőereje. Az ütközési feladatok kiinduló alapegyenletét a mozgásmennyiség kifejezése szolgál:

a) tökéletesen rugalmas testek ütközésekor

$$\int_0^{\tau_1} F dt = I_1; \quad \tau_1 = \tau_2 = \tau/2,$$

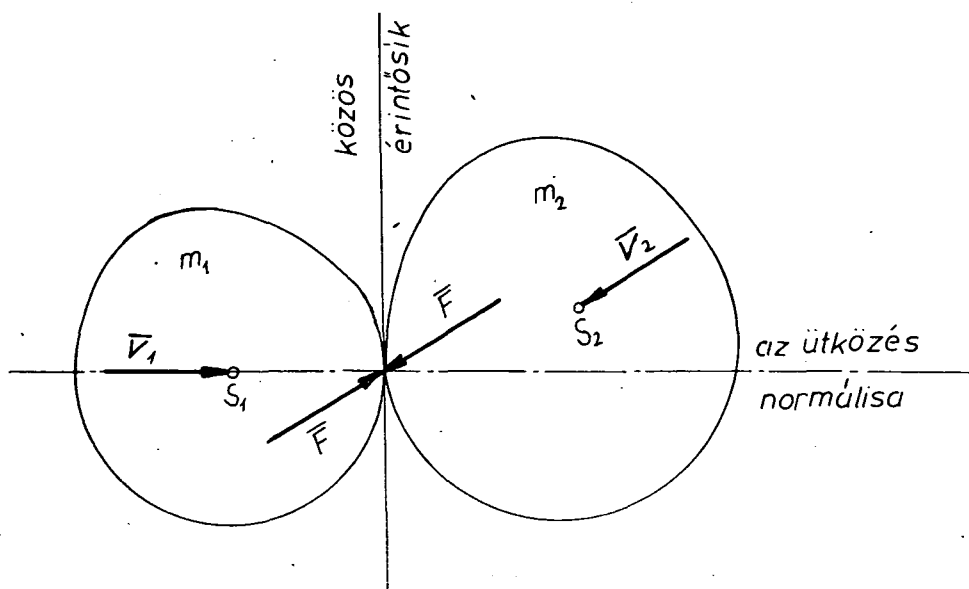
ahol: a (τ) az ütközési periódus időtartama,

b) rugalmatlan ütközéskor a lökőerő impulzusa

$$\int_0^{\tau_1} F dt = I_1; \quad \text{az első periódusban,}$$

$$\int_{\tau_1}^{\tau} F dt = k I_2 \quad \text{a második periódusban,}$$

* Műszerezés- és Szabályozástechnika Tanszék



1. ábra. Két szilárd test ütközése

A k), az úgynevezett ütközési tényező viszko-elasztikus anyagokra kísérleti úton határozható meg, ingás ütőszerkezet segítségével [4]:

$$k = \frac{\sin \beta/2}{\cos \alpha/2},$$

ahol: β — az ütő súly visszapattanási szöge,
 α — az ütő súly induló szöge,

A gyakorlatban az aprítási folyamat bonyolult igénybevételek hatására jön létre. Az aprítás általános feltétele, hogy az ütközés okozta igénybevétel meghaladja az anyag dinamikus törőfeszültségét. Mint később látni fogjuk mind a törőfeszültség, mind az igénybevétel függ az anyag mechanikai jellemzőitől [4].

Az aprítási folyamat célja pedig, nagyobb méretű anyagtömeget kisebb méretű részekből álló anyaghalmazzá átalakítani, vagy pedig fellazítani a magbelső és héj mechanikus kapcsolatát [2]. Ez utóbbi eset fordul elő kakaóbab hántolása és durvaaprítása esetén, ahol a cél a felesleges és káros kakaóhéj és a pörkölt kakaóbélzet szétválasztása.

2. VISZKO-ELASZTIKUS ANYAGOK ÜTKÖZÉSE

Ismeretes, hogy az édesipari anyagok többsége, így a kakaóbab is viszko-elasztikus. Ezen anyagoknál a feszültség-deformáció függ a deformáció sebességétől és részben a szilárd testek, részben pedig a folyadékok tulajdonságaival rendelkeznek [5].

A viszko-elasztikus anyagokkal végzett dinamikus vizsgálatok azt mutatják, hogy az ütközések során ezen anyagok a Maxwell-modellhez hasonlóan viselkednek. A fe-

szűtség deformáció időbeni változása:

$$\sigma(\tau) = \eta \cdot \varepsilon - T \cdot \dot{\sigma}, \quad (1)$$

ahol: η — dinamikai viszkozitás,

ε — relatív megnyúlás,

$$T = \frac{\eta}{E} \text{ — relaxációs idő,}$$

E — rugalmassági modulus.

Az ütközés dinamikáját a Newton-féle mozgásegyenlet írja le:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -F, \quad (2)$$

z — viszko-elasztikus anyag deformációja.

Az (1) és (2) összefüggések megoldása Laplace-transzformációval lehetséges [4].

Az (F) erő változása az idő függvényében:

$$F(\tau) = \frac{2v \cdot \eta \cdot A}{L \sqrt{B-1}} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{2T}\right) \sin \frac{\tau}{2T} \sqrt{B-1}, \quad (3)$$

ahol: v — ütközési sebesség,

L — az ütköző testet jellemző geometriai méret,

A — a viszko-elasztikus anyag keresztmetszete, továbbá $B = \frac{4\eta AT}{mL}$,

m — az ütköző test tömege.

A (z) deformáció változása:

$$z(\tau) = \frac{mvL}{\eta \cdot A} \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau}{2T}\right) \cdot \left(\frac{1-B/2}{\sqrt{B-1}} \cdot \sin \frac{\tau}{2T} \sqrt{B-1} + \cos \frac{\tau}{2T} \sqrt{B-1} \right) \right]. \quad (4)$$

Amint látjuk mind a deformáció, mind pedig az azt létrehozó erő változása függ az anyag mechanikai tulajdonságaitól (η ; E ; T).

A megfelelő aprítási fokot (n), kritikus ütközési sebességgel (v_{kr}), illetve deformációs erővel (F_{kr}) érjük el. Ez utóbbi paraméterek értékét a (3), (4) egyenletek szélsőérték vizsgálata adja.

A (3) egyenletből az ütközés ideje: (τ_{\max})

$$\frac{dF(\tau)}{d\tau} = \frac{2v \cdot \eta \cdot A}{L \sqrt{B-1}} \exp\left(-\frac{\tau}{2T}\right) \frac{1}{2T} \cdot \left(\sqrt{B-1} \cos \frac{\tau}{2T} \sqrt{B-1} - \sin \frac{\tau}{2T} \sqrt{B-1} \right), \quad (5)$$

ahonnan: τ_{\max} a $\frac{dF(\tau)}{d\tau} = 0$ összefüggésből:

$$\tau_{\max} = \frac{\pi \cdot T}{\sqrt{B-1}}.$$

Visszahelyettesítve a (3) egyenletbe, a kritikus deformációs erőt kapjuk:

$$F_{kr} = \frac{2v \cdot \eta \cdot A}{L \sqrt{B-1}} \exp\left(-\frac{\pi}{2\sqrt{B-1}}\right). \quad (6)$$

A (4) egyenlet szélsőérték vizsgálatából a kritikus deformáció értéke:

$$z_{kr} = \frac{mvL}{\eta \cdot A} \left[1 - \left(\frac{1-B/2}{\sqrt{B-1}} \right) \cdot \exp \left(-\frac{\pi}{2\sqrt{B-1}} \right) \right] \quad (7)$$

A (7) összefüggésből a kritikus sebesség kifejezhető az anyag reológiai tulajdonságainak függvényében:

$$v_{kr} = \frac{\eta \cdot An}{m} \exp \left(\frac{\pi}{2\sqrt{B-1}} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{1-B/2}{\sqrt{B-1}}} \right) \quad (8)$$

3. ÜTKÖZTETÉSES APRÍTÁS KAKAÓBAB TÖRŐ- ÉS HÁNTOLÓBERENDEZÉSEKEN

A pörkölt kakaóbab törésére jelenleg igen egyszerű működésű aprítóbordás hengerpárt alkalmaznak. Az összeforgó hengerpár között a rideg kakaóbélzet 2-5 mm nagyságú darabokra esik szét — kakaóbab töret keletkezik — majd a magbél és a héjat helyileg szétválasztják. A berendezés hátrányai, hogy a szemcseméret eloszlás egyenetlen, melynek következtében a további finomaprítási műveletek energiaigénye jelentősen növekszik, és a távozó kakaóhéjba értékes kakaóbél is kerül. Ezzel szemben az ütköztetési elv alapján működő törő- és hántolóberendezésekkel lényegesen egyenletesebb szemcseméret eloszlás érhető el, és tekintettel arra, hogy minimális aprótöret keletkezik jobb szétválasztást lehet elérni.

Ennek a berendezésnek egy lehetséges megoldását a 2. ábra mutatja. A kakaóbab a fogadó garatból (1) az aprítótérbe (2) jut, majd ütközik az azonos irányba forgó hatszögletű hengerpár (3) lapjain. A kerületi sebességhez hasonló értékre felgyorsult — részben elaprózódott — szemek a megfelelő szögben kialakított és kiélezett hántolókésekhez (4) ütköznek, miközben tovább aprózódnak, és a héj elválik a magbélről.

Az aprózódást a már említett deformációs erő (3 egyenlet) és kritikus ütközési sebesség (8 egyenlet) biztosítja. A hántolási művelet eredményessége érdekében ismereni kell a szemek ütközési utáni várható mozgását. Ennek, illetve az anyag mechanikai tulajdonságainak ismeretében a hántolókések megfelelő szögben beállíthatók.

Vizsgáljuk meg a kakóbab és az aprítóhenger lapja közötti ütközés esetét (3. ábra). Az r sugarú m_1 tömegű gömb alakra redukált kakaóbab v_{kr} (8. egyenlet) sebességgel ferdén ütközik a szilárd és érdes síkba. Az ütközés előtt a babszem súlypontjában átmenő tengelye körül ω szögsebességgel forog.

A két ütköző test között a súrlódási együttható μ (3/a, ábra).

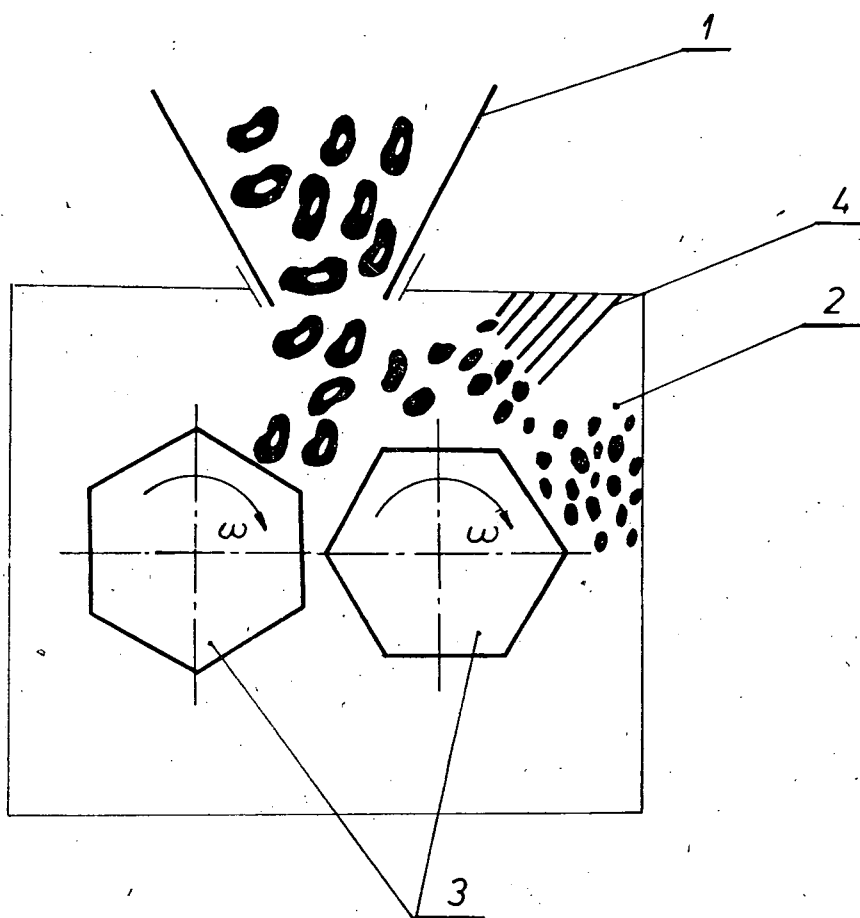
Az ütközés után a mozgásállapot kinematikai jellemzőit a 3.b, ábra szemlélteti.

Az ütközés egész periódusára a normális irányú impulzus, figyelembe véve a

$$v \cdot \cos \beta = -v_{kr} \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

összefüggést

$$\int_0^t F_{kr} dt = m(1+k) \cdot (v \cos \beta - v_{kr} \cdot \cos \alpha) = -2m(1+k)v_{kr} \cos \alpha \quad (10)$$



2. ábra. Az ütköztetési aprítás elvi működése
1 — fogadó garat, 2- aprítótér, 3- hatszögletű hengerpár, 4 — hántoló kések.

Az F_{kr} lökőerő az érdes síkon $\mu \cdot F_{kr}$ súrlódó erőt ébreszt (3/c ábra), mely hatására a $v_{kr} \sin \alpha$ összetevő, illetve az ω értékek megváltoznak. Azaz:

$$m(v \sin \beta - v_{kr} \sin \alpha) = -\mu \int_0^{\tau} F_{kr} dt. \quad (11)$$

Helyettesítve a 10. összefüggést a 11.-be:

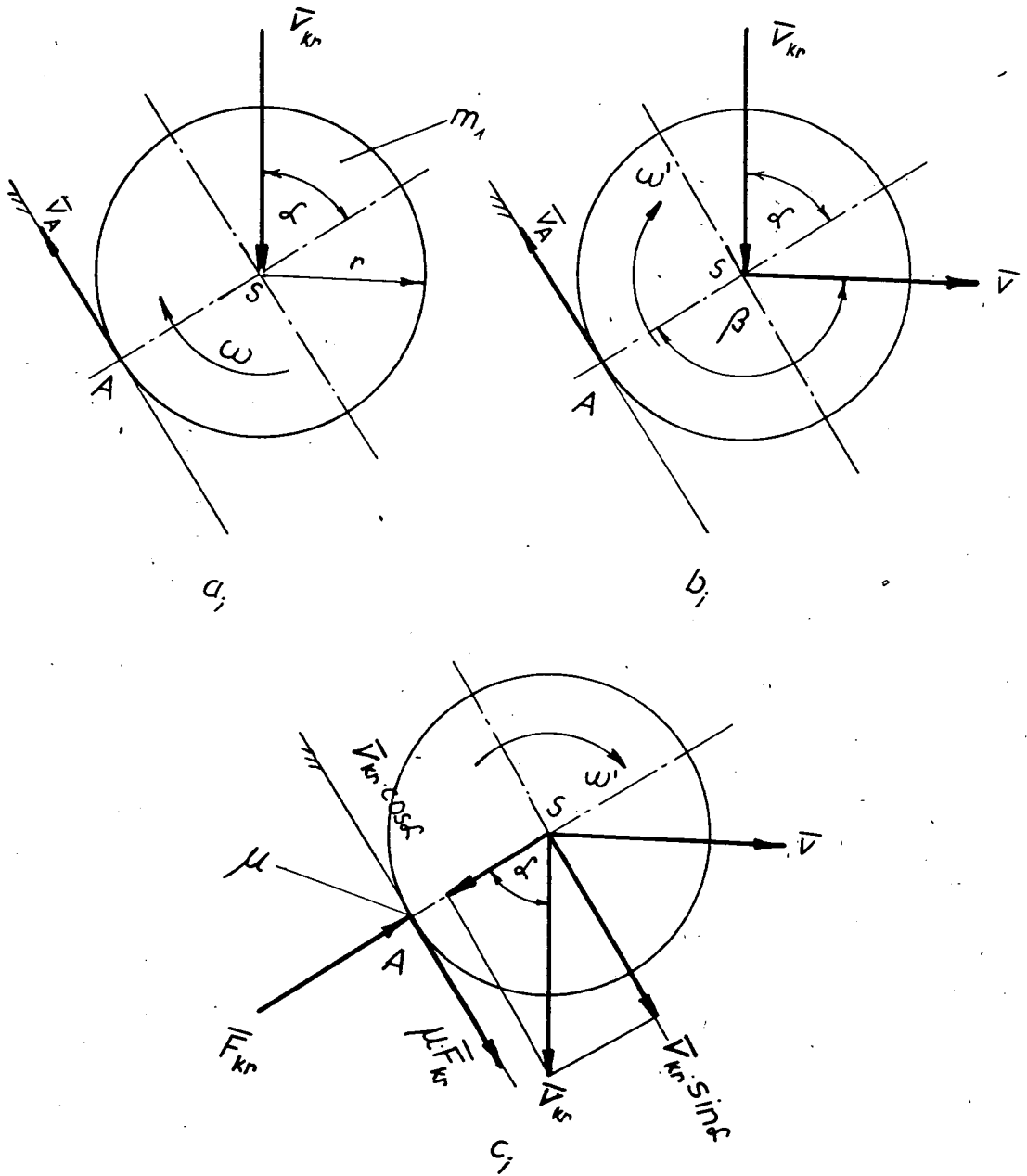
$$m(v \sin \beta - v_{kr} \sin \alpha) = -2\mu m(1+k)v_{kr} \cdot \cos \alpha,$$

azaz

$$v \cdot \sin \beta = v_{kr} \cdot [\sin \alpha - 2\mu(1+k) \cos \alpha]. \quad (12)$$

Ezt az összefüggést osztva a 9. alatt felírttal:

$$\operatorname{tg} \beta = 2\mu(1+k) - \operatorname{tg} \alpha. \quad (13)$$



3. ábra. A kakaóbab és az aprító henger ütközése

A súrlódó erő impulzusának nyomatóka okozta perdületváltozás a súlypontra nézve:

$$\theta(\omega' - \omega) = -\mu \cdot r \cdot \int_0^t F_{kr} dt.$$

Az értékeket helyettesítve:

$$\frac{2}{5} mr^2 (\omega' - \omega) = -2\mu m(1+k) \cdot r \cdot v_{kr} \cos \alpha,$$

azaz:

$$\omega' = \omega - \frac{5\mu}{r} (1+k) v_{kr} \cos \alpha, \quad (14)$$

a 9., 12. és 14. egyenletek a kakaóbab mozgásállapotát jellemzik az ütközés során.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott összefüggésekből először is azt a következtetést vonhatjuk le, hogy egy jó hatásfokkal működő berendezés megtervezéséhez alaposan meg kell ismernünk a megmunkálandó anyag mechanikai tulajdonságait. Másodsor pedig, ha a rendelkezésünkre álló valamennyi információt figyelembe kívánjuk venni, akkor ehhez korszerű számítógép igénybevétele szükséges.

IRODALOMJEGYZÉK

1. *Beke B.*: Aprításelmélet. Szilikátkémiai nomográfiák IV. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
2. *Mohos F.*: Általános édesipari műveletek és a kakaó feldolgozása. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1975.
3. *Muttyánszky A.*: Kinematika és kinetika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961.
4. *Sitkei Győ.*, Mezőgazdasági anyagok mechanikája I. II. Körmend, 1972.
5. *Macsihin, J.—Klapovszkij, J.*, Szovremennüje szposzobi formovanyija konfetnüh massz. Pisevaja promüslennosztj, Moszkva, 1974.

STUDY OF THEORY OF PERCUSSION COMMINATION OF VISCO—ELASTIC MATERIALS

G. Szabó

Some theoretical questions of the percussion comminution of visco-elastic materials are dealt with.

Correlations are analyzed between the rheological properties of the material to be processed and the comminution force, as well as the critical percussion speed. An account is given of the principle of operation of a cocoa-bean breaking and shelling apparatus working on the basis of the percussion principle, and the movement state of the cocoa-bean in the course of percussion is examined.

UNTERSUCHUNG DER STOSS—ZERKLEINERUNGSTHEORIE BEI VISKO—ELASTISCHEN STOFFEN

G. Szabó

Der Artikel befasst sich mit einigen theoretischen Fragen der Stoss-Zerkleinerung der visko-elastischen Materiele.

Er analysiert die Zusammenhänge zwischen den rheologischen Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials und der Zerkleinerungskraft sowie der kritischen Stossgeschwindigkeit. Erörtert wird das grundsätzliche Funktionieren der nach dem Kollisionsprinzip wirkenden Kakaobohnen-Brech- und Schäleinrichtung und untersucht wurde der Bewegungszustand der Kakaobohnen im Laufe des Stossens.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ ДРОБЛЕНИЯ ВИСКО—ЭЛАСТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПУТЁМ ИХ СТОЛКНОВЕНИЯ

Г. Сабо

Статья рассматривает некоторые теоретические вопросы дробления visko-эластических веществ путём их столкновения.

Анализируется зависимость между реологическими свойствами обрабатываемого материала и силой дробления, с одной стороны, и скоростью критического столкновения. Описывается принцип работы установки по лущению какаобаба, основанной на принципе столкновения, анализируется состояние его движения в процессе столкновения.